

# INFRASTRUKTUR

## PENGARUH POSISI SAMBUNGAN LAMINA TERHADAP KAPASITAS LENTUR BALOK KAYU LAMINASI

### The Effect of The End-Joint Applications To The Bending Strength and Flexure Behaviour of The Glulam Beam

Kusnindar Abd. Chauf

Jurusan Teknik Sipil Universitas Tadulako-Jalan Soekarno Hatta Km. 8 Palu 94118

Email : kus\_untad@yahoo.co.id

#### ABSTRACT

*Glulam beam is a high flexibility and efficiency, particularly in achieving long span. The effect of the end- joint applications to the bending strength and flexure behaviour of the beam need to be known, in order to obtain design parameters that considered strength reduce. By clear specimen test of timber (Dryobalanops sp) based on ISO 1975, reference to arrange the beam dimension was obtained. By fracture energy concept, 100% end-joint configuration was applied in the form of scarf joint ( $l/h=3,333$ ), then four point static bending test was conducted with six variations of connection formations i.e. BS 0, BS 10A, BS 10B, BS 13A, BS 13B and BS 26 to obtain load-displacement data, which in turn formed as the determination basis of bending behaviour of glulam beam. The basic of end joint configuration that applied was bending stress condition and crack propagation mode which possibly occurred. Application of 100% scarf joint ( $l/h = 3,333$ ) with minimum distance of  $2,375h$  evoke the significant reduction of bending strength (MOR) of the glulam beam with maximum value of 34,6% by the BS 13A and minimum value of 25% by BS 10B. In addition to that, the not significant stiffness reduction of the structures also takes place with maximum value of 29,7% by BS 13A, and minimum value of 8,6% by BS13B. In this case, the specific mechanic maksimum value of 126,073 MPa by BS 26. By the context of the capacity reduction due to scarf joint, the most influencing factors are the scarf joint configuration, thikness and slope of the glue line.*

*Keywords: bending strength, glulam beam, scarf joint*

#### ABSTRAK

Balok laminasi memiliki fleksibilitas dan efisiensi dalam hal pencapaian bentang. Sehubungan dengan itu perlu diketahui efek sambungan terhadap kapasitas lentur balok, agar diperoleh parameter desain yang akomodatif terhadap kelemahan sambungan. Dalam hal ini dasar pengaturan formasi dan komposisi sambungan yang diterapkan adalah kondisi tegangan lentur dan pola penyebaran retak longitudinal yang mungkin terjadi. Melalui uji kerapatan dan sifat mekanik spesimen kecil kayu kamper menurut ISO. 1975 diperoleh acuan untuk penentuan dimensi balok lentur. Berdasarkan konsep energi fracture diterapkan formasi sambungan 100% berupa scarf joint ( $l/h=3,333$ ) pada balok, kemudian dilakukan uji lentur statik empat titik dengan enam variasi formasi sambungan yaitu BS.0, BS.10A, BS.10B, BS.13A, BS.13B dan BS.26 untuk memperoleh data beban-lendutan, yang kemudian dijadikan dasar penentuan perilaku lentur balok kayu laminasi. Pengaplikasian formasi 100% scarf-joint ( $l/h = 3,333$ ) dengan jarak minimal  $2,125h$  menyebabkan reduksi kapasitas lentur (MOR) balok kayu laminasi maksimum 34,6% pada BS.13A dan minimum 25% pada BS.10B. Selain itu juga terjadi reduksi kekakuan (MOE) maksimum 29,7% pada BS.13A dan minimum 8,6% pada BS.13B. Pelemahan akibat sambungan sangat ditentukan oleh tebal dan kemiringan garis perekat serta jumlah dan formasi sambungan yang diterapkan.

Kata Kunci : kapasitas lentur, balok kayu, laminasi, scarf joint

#### PENDAHULUAN

Kelebihan dan keuntungan balok kayu laminasi dapat diperoleh secara optimal bila digunakan elemen lamina yang solid (Moody, 1999). Kondisi ini menjadi sulit dicapai bila dibutuhkan bentang yang besar. Oleh karena itu diperlukan penyambungan lamina, dengan konsekuensi adanya reduksi kapasitas lentur. Dengan demikian harus ditetapkan formasi

sambungan yang memiliki intensitas kelemahan minimum. Adapun proses analisis terhadap sambungan dapat melibatkan prinsip-prinsip *fracture mechanics* (Blass, dkk., 1995).

Dalam konteks reduksi kekuatan, maka proses laminasi akan menyebabkan perubahan kapasitas lentur ( $k = MOR/\sigma_r$ ). Umumnya  $k > 1,00$  (Falk dan Colling dalam Serrano and Larsen, 1999). Oleh karena itu sejauh mana

antara proses laminasi dan penerapan sambungan bisa menjamin pemenuhan syarat-syarat konstruksi harus diketahui, untuk memperoleh  $k$  yang optimal.

Karena sifat kayu yang tidak homogen, maka analisis respon struktur terhadap gaya eksternal tidak dapat ditentukan hanya dengan prinsip mekanika bahan yang umum. Dalam hal ini Collmann, dkk., (1968) memberikan solusi melalui pendekatan rasio kapasitas tekan dan kapasitas tarik, dengan asumsi bahwa pada kondisi *fracture*, untuk daerah tekan tegangan-regangan adalah non-linier sedang untuk daerah tarik dapat dianggap linier (Barret, dkk., 1995).

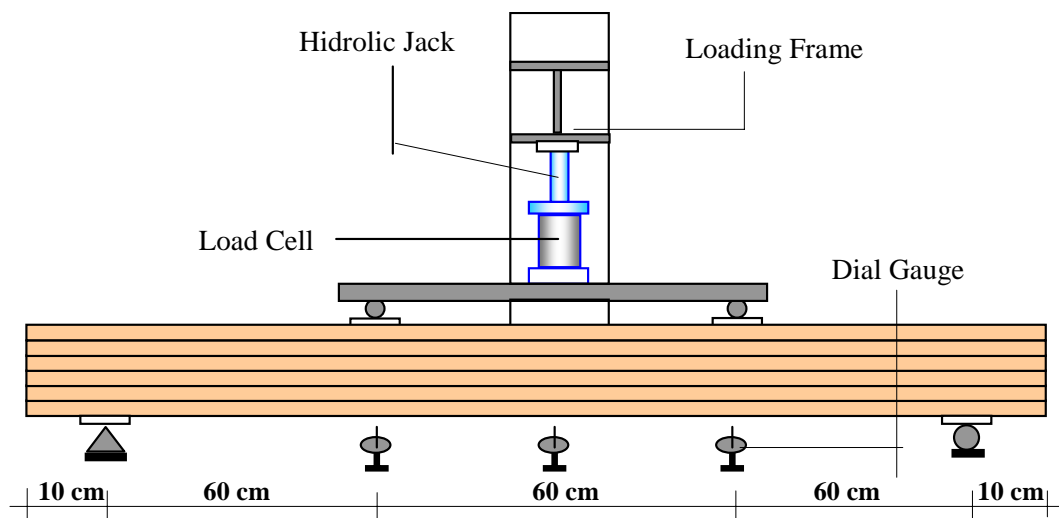
Selanjutnya karena kayu cenderung lemah terhadap geser horizontal, maka untuk mengetahui apakah geser atau lentur yang menjadi kontrol desain, harus dipertimbangkan rasio  $L/d$ . Dalam hal ini keruntuhan balok ditentukan oleh rasio kapasitas lentur dan geser ( $F_{ub} / F_{uv}$ ) (Soltis, dkk., 1997).

## METODE PENELITIAN

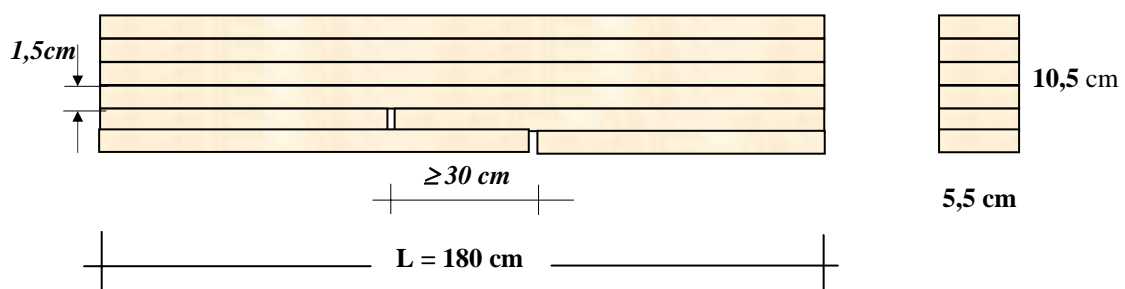
### a. Bahan, Alat dan Benda Uji

Penelitian ini menggunakan papan kayu kamper (*dryobalanops, spp*) dan perekat berupa emulsi resin Urea-Formaldehyde (UA-104), pengeras berupa bubuk  $\text{NH}_4\text{Cl}$  (HU-12) dan pengembang dengan komposisi berat 150 : 0,5 : 25. Jenis pengujian yang dilakukan adalah uji sifat fisik dan mekanik kayu kamper menurut ISO-1975 dan uji lentur balok (**Gambar 5.**) dengan tiga ulangan. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini berupa:

- Peralatan untuk pembuatan benda uji berupa planner (SCM-S52 ) untuk leveling dan finishing, circular panel saw (SCM-S1 16W), dongkrak hidrolis (Carver – 12ton), dan set alat klem
- Alat untuk pengujian spesimen kecil (uji pendahuluan) berupa Universal Testing Machine (United SFM-30 13ton) dan uji lentur balok (**Gambar 1**)



Gambar 1. Setting- up pengujian balok laminasi



Gambar 2. Dimensi benda uji balok

**Tabel 1.** Hasil perhitungan kebutuhan perekat dan komposisinya

Jenis Pengujian	A (cm <sup>2</sup> )	Kebutuhan Perekat 60MDGL (gr)		
		UA-104 (Resin)	Gandum (Filler)	HU-12 (Hardener)
Uji Pendahuluan				
Tarik sambungan	12,000	0,331	0,055	0,001
Keteguhan rekatan	18,750	0,516	0,086	0,002
Uji Lentur balok				
Permukaan lamina	246.240	6781,790	1130,298	22,606
Scarft-joint	8747,964	240,931	40,155	0,803
Total	255.018,714	7023,568	1170,594	23,414

Berdasarkan hasil uji pendahuluan diperoleh  $MOR/\tau_{//} = 7,992$ . Oleh karena itu menurut konsep kesamaan keruntuhan geser dan lentur, diperoleh dimensi balok seperti pada Gambar 2., dimana  $l$  dan  $b/h$  merupakan ketentuan. Selanjutnya ditetapkan jarak sambungan minimum adalah  $2,125h$  (30 cm). Untuk kebutuhan perekat, perhitungan didasarkan pada komposisi 60 MDGL seperti pada Tabel 1.

Untuk kebutuhan perekat disajikan dalam Tabel 1. Dalam hal ini perekat yang digunakan adalah jenis Urea Formaldehide.

#### b. Pelaksanaan Pengujian dan Urutan Analisis

Uji pendahuluan dilaksanakan menurut ISO.1975. dengan menggunakan UTM guna memperoleh data karakteristik fisik dan mekanik bahan dasar. Uji lentur dilakukan secara manual setting-up seperti pada Gambar 1. Selanjutnya

tahapan analisis terhadap data hasil pengujian lentur adalah :

- Menentukan hubungan beban dan lendutan dengan mengambil nilai rata-rata, kemudian ditentukan kekakuan dan kelengkungan balok.
- Berdasarkan sifat-sifat tersebut diatas kemudian ditarik kesimpulan mengenai pengaruh proses laminasi dan penerapan formasi sambungan terhadap kapasitas lentur balok kayu laminasi.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### a. Sifat Fisik dan Mekanik Spesimen

Berdasarkan uji pendahuluan diperoleh kerapatan kayu kamper pada kondisi kering udara adalah 0,599,  $\tau_{//rekatan} = 1,094\tau_{//}$ , dan  $\sigma_{tr.Sb} = 0,616\sigma_{tr//}$ . Dengan demikian terjadi reduksi kuat tarik sebesar 38,4%. Secara rinci karakteristik bahan dasar kayu kamper adalah sebagaimana disajikan dalam Tabel 2.

**Tabel 2.** Sifat mekanik kayu kamper ( $w = 12\%$ )\*\*

Sampel	MOR (MPa)	MOE (MPa)	$\sigma_{tr//}$ (MPa)	$\sigma_{tk//}$ (MPa)	$\sigma_{tk.L}$ (MPa)	$\tau_{//}$ (MPa)	$\tau_{//rekatan}$ (MPa)	$\sigma_{tr.Sb}$ (MPa)
1	84,869	11344	121,538	51,387	5,172	10,891	10,476	83,506
2	91,687	11883	114,732	52,625	4,232	10,788	12,779	72,083
3	93,411	13959	144,470	50,602	5,404	11,060	12,562	79,022
Rata-rata	89,989	12395	126,913	51,538	4,936	10,913	11,939	78,204

\*\* Dihitung menurut Blass dkk, 1995 : A4/16

**Tabel 3.** Sifat fisik dan mekanik balok kayu laminasi

SAMPSEL	$P_{max}$	MOR	MOE	$\rho$	Kategori
	(kN)	(MPa)	(MPa)	(gr/cm <sup>3</sup> )	Balok
BS.0	33,00	87,519	17796	0,805	II
BS.10A	20,16	55,405	14610	0,769	III
BS.13A	20,74	57,242	12514	0,720	III
BS.26	24,17	66,502	12592	0,725	III
BS.10B	24,01	65,631	14059	0,746	IV
BS.13B	21,30	58,156	16261	0,755	IV

**b. Perbandingan Sifat Fisik dan Mekanik Spesimen**

**Tabel 4.** menunjukkan bahwa proses laminasi menyebabkan peningkatan kerapatan sebesar 25,8% dan peningkatan kekakuan (MOE) sebesar 43,6% (**Gambar 3**). Sebaliknya penerapan sambungan

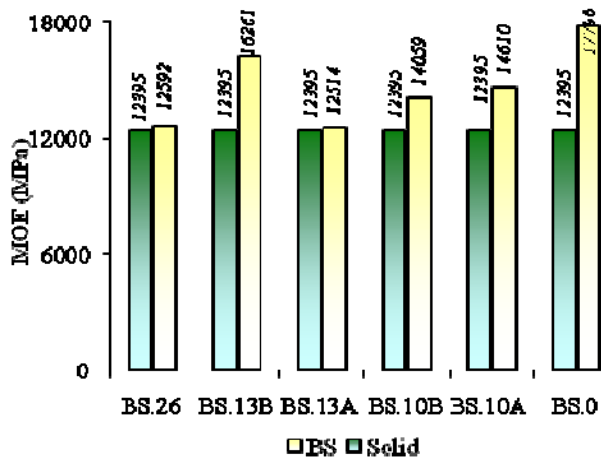
justu menimbulkan reduksi MOE sebesar 29,7% (maksimum) dan 17,9% (minimum) untuk kategori III. Untuk kategori IV, reduksi maksimum sebesar 21% dan minimum 8,6%. Dengan demikian terdapat hal yang saling bertolak belakang antara penerapan sambungan dengan penerapan laminasi.

**Tabel 4.** Perbandingan sifat fisik dan mekanik spesimen

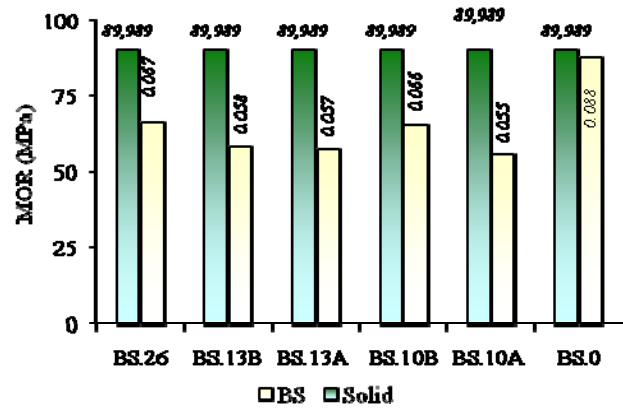
SAMPSEL	MOR (MPa)	$k_{MOR}$	MOE (MPa)	$k_{MOE}$	$\rho$ (gr/cm <sup>3</sup> )	$k_p$	Kategori
Pengaruh proses laminasi							
Solid	89,989	1	12395	1	0,599	1	I
BS.0	87,519	0,973	17796	1,436	0,805	1,344	II
Pengaruh penerapan sambungan							
BS.0	87,519	1	17796	1	0,805	1	II
BS.10A	55,405	0,633	14610	0,821	0,769	0,955	III
BS.13A	57,242	0,654	12514	0,703	0,720	0,894	III
BS.26	66,502	0,760	12592	0,708	0,725	0,901	III
BS.10B	65,631	0,750	14059	0,790	0,746	0,927	IV
BS.13B	58,156	0,664	16261	0,914	0,755	0,938	IV

Sebaliknya, proses laminasi dan penerapan sambungan justu menimbulkan reduksi MOR sebesar 2,70% (BS.0) dan 34,6% (BS.13A), 24% (BS. 26), 33,6% (BS.13B) serta 25% (BS.10B), seperti pada Tabel 4. dan Gambar 4. Secara statistik mengenai pengaruh penerapan sambungan terhadap balok kayu laminasi disajikan dalam **Tabel 5**. Dari segi ini dapat dikatakan bahwa formasi sambungan

sangat mempengaruhi kapasitas lentur (MOR) balok, sedang terhadap MOE tidak terlalu berpengaruh. Hal ini karena MOE tergantung pada karakteristik bahan, sedang MOR lebih ditentukan oleh dimensi dan geometri.



**Gambar 3.** Perbandingan MOE balok solid dengan balok laminasi



**Gambar 4.** Perbandingan MOR balok solid dengan balok laminasi

**Tabel 5.** Hubungan variasi sambungan terhadap MOR dan MOE

		Sum of squares	Df	Mean Square	F <sub>hitung</sub>	Sig.
<b>MOR</b>	Between Groups	33894,100	5	67788,424	11,319	0,000*
	Within Groups	71868,014	12	5989,001		
	Total	410810,10	17			
<b>MOE</b>	Between Groups	6,6000.10 <sup>9</sup>	5	1320225770	1,839	0,179**
	Within Groups	8,6100.10 <sup>9</sup>	12	717777467,2		
	Total	1,520.10 <sup>10</sup>	17			

\* Sangat beda nyata

\*\* Tidak beda nyata

**Tabel 6.** Rata- rata kekakuan dan kelengkungan balok laminasi

SAMPel	KATEGORI	$M_{crack}$	$M_{max}$	$\Phi_{crack}$	$\Phi_{max}$	$EI_{crack}$	$EI_{fracture}$
		KN-m	KN-m	10 <sup>-6</sup> /mm	10 <sup>-6</sup> /mm	KNm <sup>2</sup>	kNm <sup>2</sup>
BS.0	II	-	9,899	-	268,732	-	37,700
BS. 10A	III	4,606	6,047	90,880	319,171	54,911	19,209
BS. 10B	IV	5,194	7,203	81,681	318,562	65,718	23,811
BS. 13A	III	3,675	6,223	80,369	320,005	49,390	19,831
BS. 13B	IV	4,704	6,390	79,038	319,528	61,863	20,287
BS. 26	III	4,018	7,252	81,450	319,297	50,831	22,710

Dalam kaitannya dengan kelengkungan, dari **Tabel 6.** diketahui bahwa balok laminasi dengan scarf-joint memiliki intensitas lentur kurang dari balok laminasi utuh, sehingga kekakuannya kurang dari BS.0. Dalam hal ini terdapat perubahan EI karena adanya pengurangan tinggi (h) saat terjadi retak awal.

Berdasarkan **Tabel 7.** diperoleh fakta bahwa makin kecil kemiringan sambungan maka

kapasitasnya akan semakin besar (Intang, 2003), dan reduksi kapasitas akan bertambah mengikuti penambahan jumlah sambungan (Sutarno, 2003). Selain itu, berdasarkan Tabel 8., setiap pola sambungan (Gambar 5.) memiliki tingkat perlemahan tersendiri. Dalam hal ini BR.3, BS.26 dan BS.10B memiliki kapasitas > 75%, sedang BS.13B, BS.13A, BS.10A dan BR4 memiliki

kapasitas >50% dan < 75%, dengan formasi terlemah adalah BR2 (< 50%).

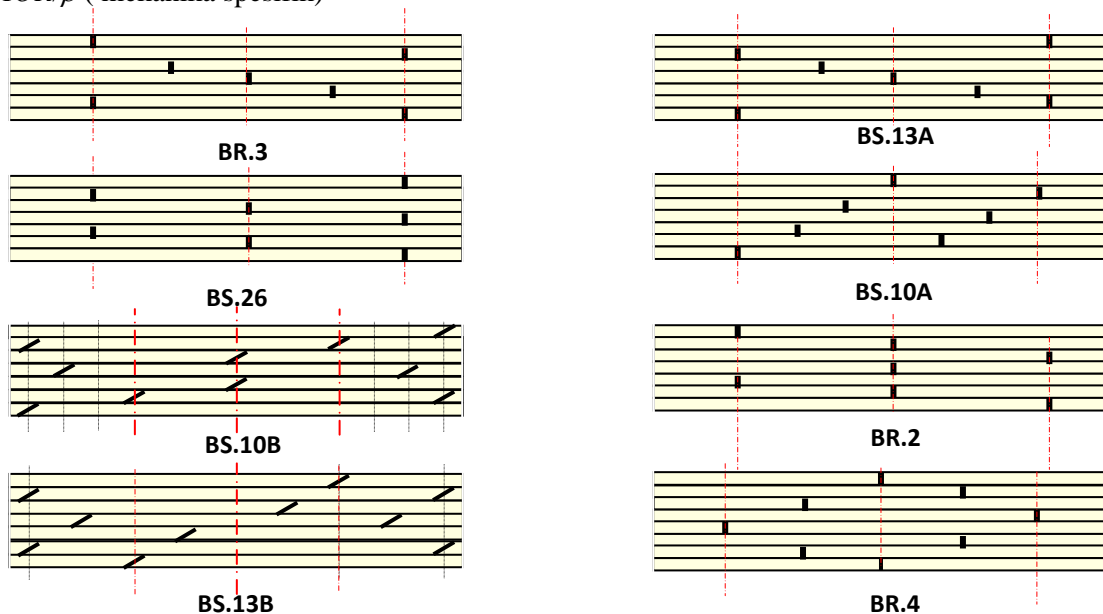
**Tabel 7.** Sifat mekanika balok laminasi dengan variasi kemiringan garis perekat (Intang, 2003)

KODE	$l/h$	$N$	$P_{max}$ (N)	MOR (MPa)	$\omega$	$\omega/\omega_{max}$
BLS-00	-	0%	25667	27,500	91,667	1,000
BLS-100	8,000	100%	17584	18,840	62,799	0,685
BLS-66	5,330	100%	17531	18,784	62,612	0,683
BLS-42	3,333	100%	15365	16,463	54,876	0,599
BLS-33	2,670	100%	14646	15,692	52,306	0,571
BLS-0	0,000	100%	7567	8,107	27,024	0,295

**Tabel 8.** Sifat mekanika balok laminasi dengan variasi formasi pola sambungan (Harry dan Kusnindar, 2004)

KODE	$L/h$	$n$	$P_{max}$ (N)	MOR (MPa)	$\omega$	$\omega/\omega_{max}$
BR3-TR	3,333	100%	4333	66,726	125,897	0,862
BS.26	3,333	100%	20157	66,502	111,022	0,760
BS.10B	3,333	100%	24012	65,631	109,567	0,750
BS.13B	3,333	100%	20745	58,156	97,089	0,665
BS.13A	3,333	100%	21300	57,242	95,563	0,654
BS.10A	3,333	100%	24175	55,405	92,497	0,633
BR4-TR	3,333	100%	2630	40,498	76,411	0,523
BR2-TR	3,333	100%	1506	23,198	43,769	0,300

Keterangan :  $n$  = jumlah lamina yang disambung  
 $\omega = MOR/\rho$  ( mekanika spesifik)



**Gambar 5.** Variasi formasi sambungan

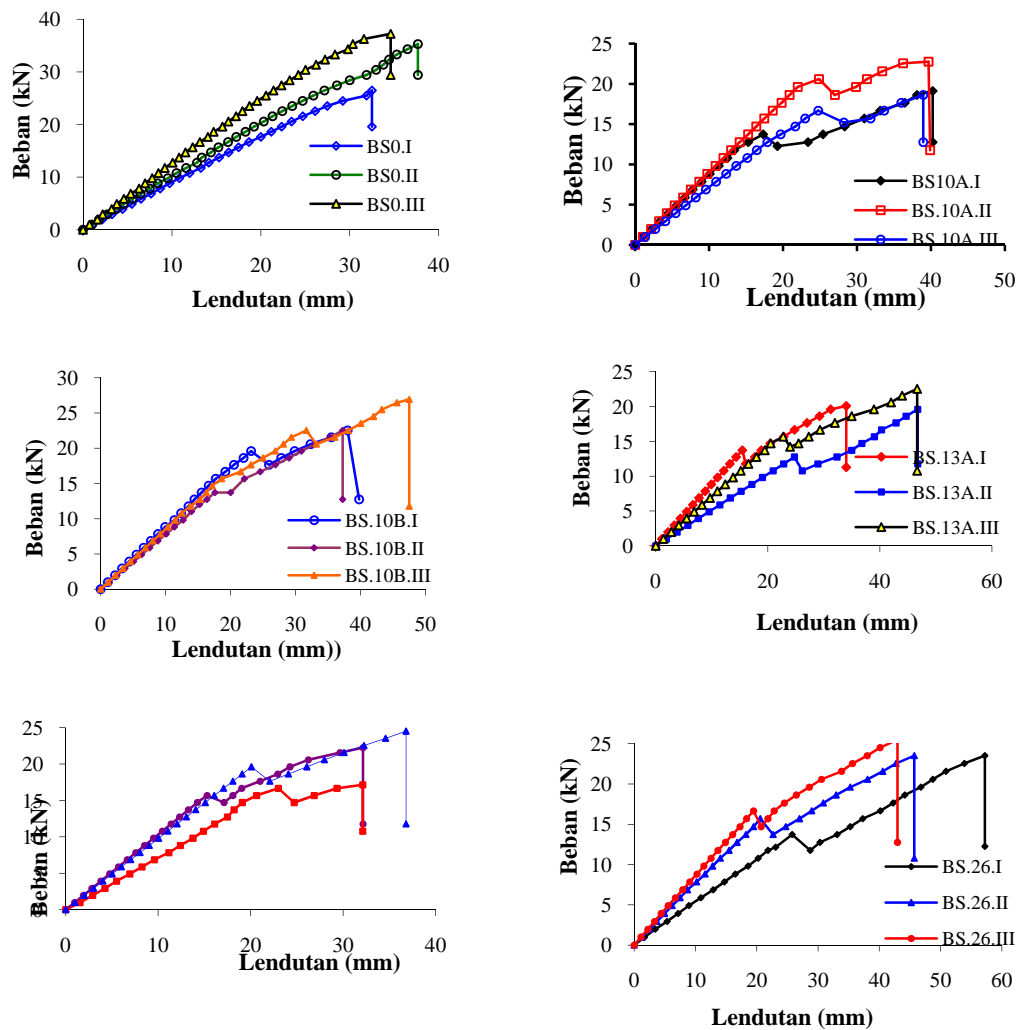
### c. Keruntuhan Balok Laminasi

Keruntuhan yang terjadi terdiri dari dua tahap (kecuali BS.0), yang dimulai dengan lepasnya sambungan lamina terbawah. Keruntuhan total

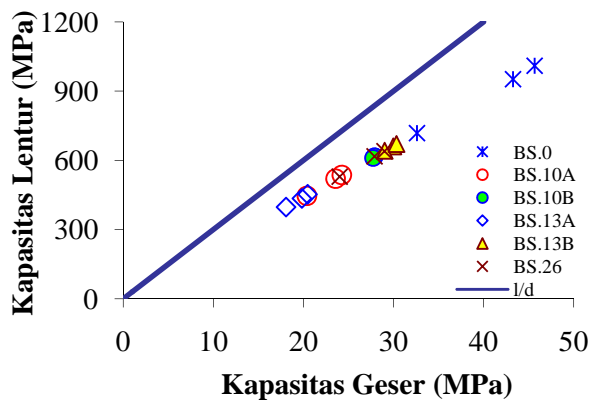
terjadi setelah 4 sampai 6 tahap pembebanan selanjutnya (Tabel 9. dan Gambar 6. ).

**Tabel 9.** Gaya –gaya eksternal balok saat terjadi crack dan fracture

SAMPEL	$P_{\text{crack}}$ (kN)	$M_{\text{crack}}$ (kN-m)	$\delta_{\text{crack}}$ (mm)	$P_{\text{fracture}}$ (kN)	$M_{\text{fracture}}$ (kN-m)	$\delta_{\text{fracture}}$ (mm)
BS.0	-	-	-	32,996	9,899	44,380
BS. 10A	15,354	4,606	25,179	20,157	6,047	47,336
BS. 10B	17,315	5,194	26,598	24,012	7,203	48,033
BS. 13A	12,251	3,675	23,000	20,745	6,223	51,361
BS. 13B	15,681	4,704	21,941	21,300	6,390	42,560
BS. 26	13,394	4,018	24,018	24,175	7,252	51,744



**Gambar 6.** Hubungan beban dan lendutan balok laminasi

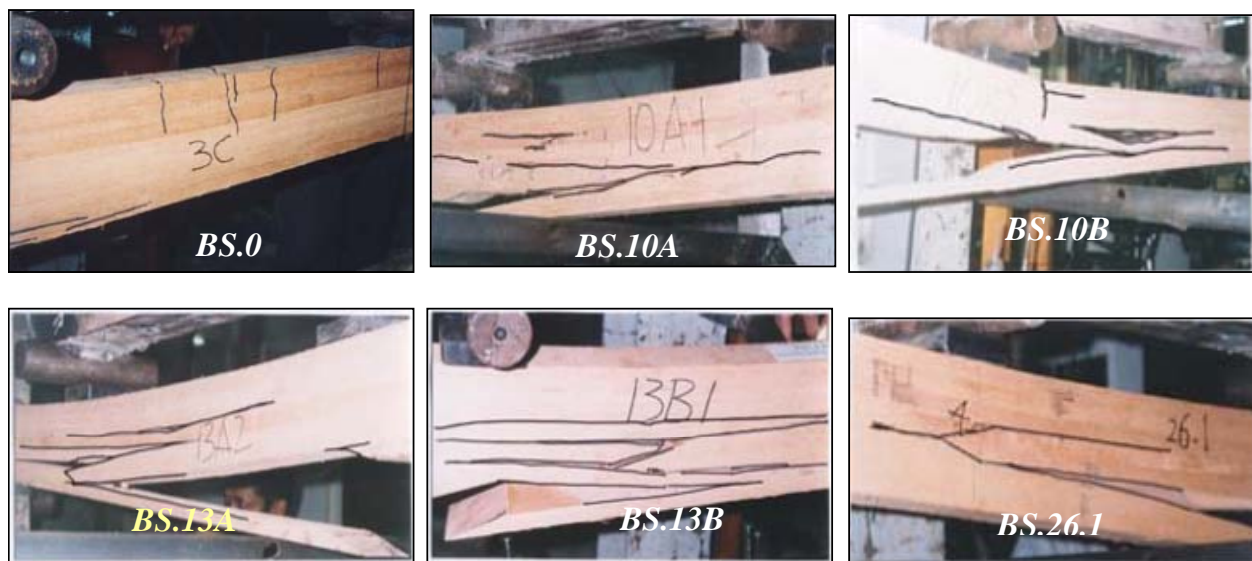


Gambar 7. Tipe keruntuhan balok lamiansi

Selanjutnya, berdasarkan **Gambar 7**, diketahui bahwa tipe keruntuhan balok yang terjadi seluruhnya berupa keruntuhan lentur dengan pola retak yang terjadi seperti ditunjukkan dalam **Gambar 8**.

#### d. Hubungan Gaya Eksternal dan Internal Balok

Dari **Tabel 10**. dan **Gambar 9**., diketahui bahwa sampai pada saat crack awal, kapasitas lentur balok laminasi belum terlampaui dan posisi garis netral rata-rata berada pada posisi 0,6h dari sisi atas. Sementara pada kondisi keruntuhan akhir letak garis netral, mengalami penurunan sampai pada level 0,72h.

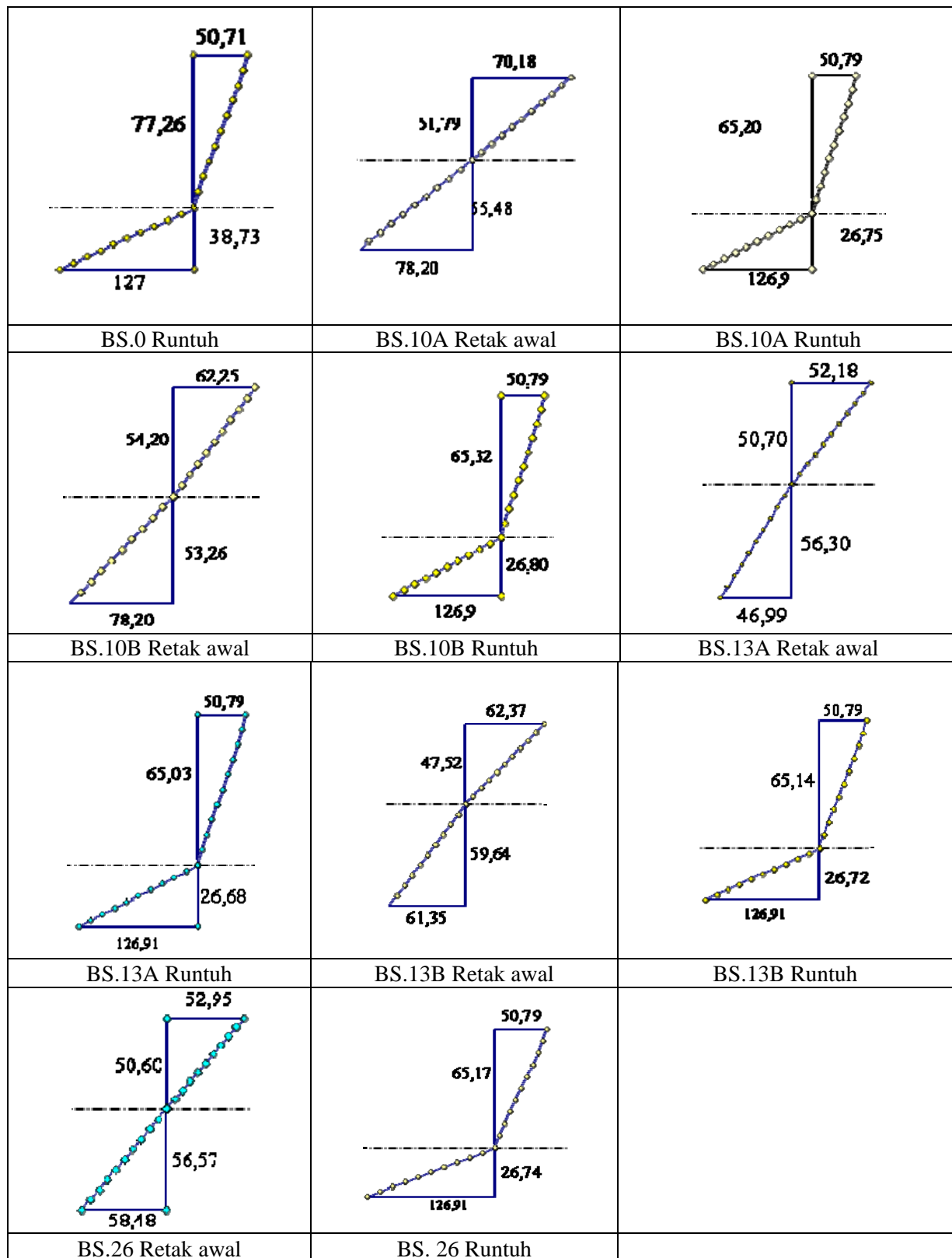


Gambar 8. Pola retak balok kayu laminasi

Tabel 10. Perbandingan momen eksternal dan internal balok laminasi

SAMPEL	KATEGORI	$M_{eksternal}$		$M_{internal}$		$M_{internal}/M_{eksternaal}$	
		$M_{crack}$	$M_{fracture}$	$M_{crack}$	$M_{fracture}$	$Crack$	$Fracture$
		KN-m	kN-m	kN-m	kN-m	%	%
BS.0	II	-	9,899		8,349	-	84,3
BS. 10A	III	5,100	6,047	7,390	5,932	145,0	98,1
BS. 10B	IV	5,586	7,252	6,880	5,960	123,2	82,2
BS. 13A	III	4,214	6,223	5,372	5,901	127,5	94,8
BS. 13B	IV	5,197	6,390	6,081	5,979	117,0	93,6
BS. 26	III	4,606	7,252	5,449	5,934	118,3	81,8





**Gambar 9.** Distribusi tegangan lentur balok laminasi

## KESIMPULAN

Pada kondisi kering udara ( $w = 12\%$ ), kerapatan kayu kamper =  $0,599 \text{ gr/cm}^3$ , keteguhan rekatan =  $11,939 \text{ Mpa}$ , kuat geser sejajar =  $10,913$

$\text{Mpa}$ , kuat tarik sambungan =  $78,204 \text{ Mpa}$ , kuat tarik sejajar =  $126,913 \text{ Mpa}$ , *modulus of rupture* =  $89,989 \text{ MPa}$ , dan modulus elastisitas =  $12395 \text{ (MPa)}$ .

Proses laminasi memberikan efek peningkatan kerapatan sebesar 25,8%, peningkatan kekakuan balok sebesar 43,6% dan penurunan keteguhan lentur sebesar 2,70 %. Penerapan formasi *scarft-joint* 100% pada balok kayu laminasi menyebabkan reduksi kekakuan maksimum 29,7% (BS.13A) dan minimum 8,6% (BS.13B), serta reduksi keteguhan lentur maksimum 34,6% (BS.13A) dan minimum 25% (BS.10B).

Pengurangan kapasitas balok berbanding lurus dengan penambahan jumlah sambungan dan penambahan kemiringan (l/h). Adapun formasi sambungan yang paling optimal adalah BR3-TR ( $\omega=125,897$ ) dan BS 26 ( $\omega=111,022$ ). Sedang formasi terlemah adalah BS.10A ( $\omega=92,497$ ) dan BR2-TR ( $\omega=43,769$ ).

#### DAFTAR PUSTAKA

- Barrett, J., F. Lam., dan W. Lau, 1995, Size Effect in Visually Graded Softwood Structural Lumber. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 7 (1): 19-30.
- Blass, H.J., P. Aune, B.S. Choo, R. Gorlacher, D.R., Griffiths., dan G. Steck, 1995, *Timber Engineering Step I*. Centrum Hout, The Nederland.
- Chang, C. T., P. Monteiro., dan K. Shyu, 1996, Behaviour of Marble Under Compression. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 8 (3) : 157-170.
- Kollmann, F.F.P., dan W.A. Cote, 1968, Principles of Wood Science and Technology Vol.I. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. New York.
- Serrano, E., and H.J. Larsen, 1999, Numerical Investigation Of The Laminating Effect In Laminated Beam. *Journal of Structural Engineering*. 125 (7) : 740-745.
- Soltis, L.A., and D.R. Rammer, 1997, Bending to Shear Ratio Approach for Beam Design. *Forest Products Journal*. 47 (1) : 104-108.
- Tan, Y.E., 1993, *Finger-Jointed Meranti Tembaga (Shorea Leprosula) for Structural Use*. Symposium-USDA Forest Service, and Taiwan Forestry Research Institute. May 25-28, 1993. Taipei.